

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук

подпись

« _____ » _____ 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.02 - Информационные системы и технологии

Спектрорадиометрическая (Terra/MODIS) и гравиметрическая (GRACE) съемки
в анализе состояния таёжных лесов Прибайкалья

Руководитель _____ зав.каф. Б-ГИС, д.б.н, проф В.И. Харук
подпись, дата

Выпускник _____ И.В. Шевцова
подпись, дата

Нормоконтролер _____ Е.В. Федотова
подпись, дата

Красноярск 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Обзор предметной области	6
1.1 Параметры растительного покрова	6
1.1.1 Нормированный вегетационный индекс	6
1.1.2 Валовая первичная продукция	8
1.2 Методы корреляционного анализа	9
1.3 Ресурсы для получения данных	10
1.3.1 Спектрорадиометр съемки MODIS.....	10
1.3.2 Данные GRACE	12
1.4 Программное обеспечение	16
1.4.1 Программный продукт ERDAS Imagine.....	16
1.4.2 Программный комплекс ArcGIS	17
1.4.3 Программный пакет STATISTICA	18
2 Предобработка данных	19
3 Анализ данных.....	22
3.1 Анализ динамики NDVI	22
3.2 Анализ динамики GPP.....	25
3.3 Анализ динамики данных GRACE	27
3.4 Корреляционный анализ зависимостей между NDVI и GPP и радиальным прироста сосны кедровой сибирской.....	30
4 Выводы.....	33
Заключение	34
Список использованных источников	35
Приложение А	37
Приложение Б.....	38

ВВЕДЕНИЕ

Лесные ресурсы сберегают генетическое разнообразие биосферы, обогащают атмосферу кислородом, в значительной степени формируют климат, сохраняют и повышают плодородие почв, регулируют и очищают водные стоки, являются одним из основных элементов рекреационного потенциала, средой обитания человека, служат сырьевой базой лесной и лесоперерабатывающей промышленности.

Усыхание леса, а именно тайги, проблема, которая требует глубочайших исследований, которые в свою очередь ответят на вопрос о причинах начавшегося усыхания. Усыхание древостоя в сумме с высокими температурами напрямую ведут к лесным пожарам.

Причины начавшегося в конце 20 века и возрастающего в настоящее время усыхания лесов (в первую очередь - хвойных) не установлены и часто объясняются комплексом почвенно-климатических факторов и антропогенным воздействием. К настоящему времени значительная деградация пихтово-еловых лесов отмечена на российском Дальнем Востоке (Манько, Гладкова, 1995, 2001; Манько и др., 1998; Власенко, 2005), пихтовых древостоев с примесью кедра, ели в районе озера Байкал (Мозолевская и др., 2003), горных пихтовых лесов в Кемеровской области (Алексеев, Шабунин, 2000) [1].

В своей работе [2] Ставников Д.Ю. подчеркивает актуальность проблемы, говоря о том, что леса Прибайкалья являются важными ресурсами всей страны. Сокращение лесного ресурса ведет экологическим и экономическим потерям. На протяжении нескольких последних лет наблюдается устойчивое ухудшение санитарного состояния темнохвойных лесов хребта Хамар-Дабан. Лесные массивы повреждены в результате различных факторов, которые приводят к опустошению тайги. Важнейшими воздействиями являются лесные пожары, ветровалы, поражения древостоев хвоегрызущими вредителями. Чаще всего факторы усыхания взаимодействуют, тем самым ускоряя вымирание лесов. Поэтому причины усыхания лесов должны и рассматриваться комплексно, с

учетом всех значимых факторов. Исследование и выявление факторов воздействия является актуальной проблемой экологических исследований.

Так, например, в статье [3] авторы провели исследования о влиянии показателей АЭВМ и NDVI на состояние растительности в зоне бассейна реки Лена. В ходе исследования были получены результаты, которые говорят о том, что изменения растительности зависят от климатических условий, которые влияют на количество водной массы земли. Из чего сделан вывод, что чем больше осадков, тем выше показатели водной массы, и показатели NDVI так же становятся выше, что указывает прямую зависимость между данными GRACE и данными NDVI.

В статье [4] описаны исследования, которые проводились с целью посмотреть зависимость между показаниями NDVI и GPP на территории России и Канады. В результате, была выявлена слабая связь между этими двумя показателями.

С помощью методов дистанционного мониторинга можно достаточно быстро и эффективно оценить санитарное состояние крупных лесных массивов, выделить наиболее значимые очаги ослабления (повреждения, усыхания), дать им первоначальную количественную и качественную оценку, которую затем рекомендуется использовать при наземном надзоре и обследованиях. В сравнении с наземными методами, которые бывают невозможны на некоторых труднодоступных территориях, вероятность выявления очагов усыхания при аэро и космонаблюдении повышается на 20–30%, а производительность труда в разы. Так же выборочная наземная проверка отдельных участков, выявленных при ДЗЗ так же будет снижать материальные и трудовые затраты [5].

Территория для исследования - темнохвойные леса Прибайкалья в точках, где наблюдалось сильное усыхание темнохвойных и/или были собраны образцы для дендрохронологий. На северном макросклоне Хамар-Дабана, который отличается высокой влажностью, мощным снеговым покровом и непромерзающими почвами, лесной пояс, в основном, представлен

темнохвойной кедрово-пихтовой тайгой. На отдельных участках склона преобладают кедровые леса различных типов [1].

В работе будут использованы данные нормированной вегетационный индекс (в дальнейшем NDVI), данные валовой первичной продукции (в дальнейшем GPP, показатели аномалий водного эквивалента массы (АЭВМ), и дендрохронологии.

Цель работы: анализ применимости съемки Terra/MODIS и GRACE в оценке состояния темнохвойных древостоев Прибайкалья (хребет Хамар-Дабан).

Задачи:

- анализ динамики NDVI;
- анализ динамики GPP;
- анализ динамики АЭВМ;
- корреляционный анализ зависимостей между NDVI и GPP и радиальным приростом сосны кедровой сибирской.

1 Обзор предметной области

1.1 Параметры растительного покрова

1.1.1 Нормированный вегетационный индекс

Нормированный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - простой количественный показатель количества фотосинтетической активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Вычисляется по следующей формуле

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

где *NIR* - отражение в ближней инфракрасной области спектра
RED - отражение в красной области спектра [5].

Согласно этой формуле, плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6-0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7-1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять и анализировать растительные от прочих природных объектов. Использование же

не простого отношения, а нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и пр. [5].

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющим спектральные каналы в красном (0,65-0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75-1,0 мкм). В таблице 1 приведены значения NDVI для различных типов объектов.

Таблица 1 – Значение NDVI для различных типов объектов

Тип объекта	Отражение в красной области спектра	Отражение в инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0.1	0.5	0.7
Разряженная растительность	0.1	0.3	0.5
Открытая почва	0.25	0.3	0.025
Облака	0.25	0.25	0
Снег и лед	0.375	0.35	-0.05
Вода	0.02	0.01	-0.25
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	0.3	0.1	-0.5

Для отображения индекса NDVI используется стандартизованная непрерывная градиентная или дискретная шкала, показывающая значения в диапазоне от -1...1 в % или в так называемой масштабированной шкале в диапазоне от 0 до 255 (используется для отображения в некоторых пакетах

обработки ДЗЗ, соответствует количеству градаций серого), или в диапазоне 0...200 (-100...100), что более удобно, так как каждая единица соответствует 1% изменения показателя. Благодаря особенности отражения в NIR–RED областях спектра, природные объекты, не связанные с растительностью, имеют фиксированное значение NDVI, (что позволяет использовать этот параметр для их идентификации) [5].

Временной период выбран летние месяцы (июнь-август) с 2003 по 2015гг., так как данный отрезок времени удачнее подходит для получения корректных данных: снег уже растаял, растительность находится в активной фазе.

Поэтому были исключены данные за первые 16 дней июня и последние 16 дней августа, чтобы не занижать индекс NDVI.

1.1.2 Валовая первичная продукция

Валовая первичная продукция, GPP (gross primary productivity) – количество вещества, создаваемого растениями за единицу времени при данной скорости фотосинтеза. Часть этой продукции идет на поддержание жизнедеятельности самих растений (траты на дыхание). Эта часть может быть достаточно большой. В тропических лесах и зрелых лесах умеренного пояса она составляет от 40 до 70 % валовой продукции. Оставшаяся часть созданной органической массы характеризует чистую первичную продукцию, которая представляет собой величину прироста растений. Чистая первичная продукция – это энергетический резерв для консументов и редуцентов. Перерабатываясь в цепях питания, она идет на пополнение массы гетеротрофных организмов. Прирост за единицу времени массы консументов – это вторичная продукция сообщества. Вторичную продукцию вычисляют отдельно для каждого трофического уровня, так как прирост массы на каждом из них происходит за счет энергии, поступающей с предыдущего.

$$GPP = NEE - ER$$

где *NEE* (Net Ecosystem Exchange) – чистый обмен экосистемы;

ER (Ecosystem Respiration) – суммарное дыхание экосистемы;

GPP – валовая первичная продукция [5].

При работе с данными *GPP* временной период выбран такой же, как и при работе данными *NDVI* по тем же причинам.

1.2 Методы корреляционного анализа

Для корреляционного анализа был использован коэффициент корреляции Пирсона, который характеризует существование линейной зависимости между двумя величинами.

Соотношение *x* и *y* линейное, если прямая линия, проведенная через центральную часть скопления точек, дает наиболее подходящую аппроксимацию наблюдаемого соотношения.

Можно измерить, как близко находятся наблюдения к прямой линии, которая лучше всего описывает их линейное соотношение путем вычисления коэффициента корреляции Пирсона, обычно называемого просто коэффициентом корреляции

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \times \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

где x_i - значения, принимаемые переменной *X*;

y_i - значения, принимаемые переменной *Y*;

\bar{x} - средняя по *X*;

\bar{y} - средняя по *Y* [7].

1.3 Ресурсы для получения данных

1.3.1 Спектрорадиометр съемки MODIS

Спутник MODIS используется в сборе данных для калиброванных глобальных интерактивных моделей Земли как единой системы. MODIS по всей поверхности Земли поступают со спутника Terra каждые 2 дня в 36 спектральных зонах (в диапазоне 0.405-14.385 мкм) с разрешением 250-1000 м, что обеспечивает моделирование в глобальном и региональном масштабе [9].

Транснациональный научно-исследовательский спутник Terra (EOS AM-1) MODIS на солнечно-синхронной орбите вокруг Земли, действующий под руководством агентства НАСА. Прибор предназначен для наблюдения за глобальной динамикой планеты Земля, что включает изменения в облачности, бюджет излучения, и процессы, происходящие в океанах, на суше, и в нижних слоях атмосферы [9].

Спутник Terra несёт на борту пять дистанционных зондов для наблюдения за окружающей средой и изменениями климата: ASTER, CERES, MISR, MODIS, MOPITT.

Японский прибор ASTER зондирует Землю с высоким разрешением в 15 диапазонах электромагнитного спектра, от видимого до инфракрасного излучения. С разрешением от 15 до 90 метров, изображения ASTER используются для создания подробных карт температуры поверхности Земли, излучательной способности (emissivity), отражательной способности и высоты.

Научный спутниковый инструмент радиометр CERES, предназначенный для измерения солнечного отражения и излучение, испускаемое от верхней части атмосферы (TOA) на поверхности Земли.

Прибор MISR представляет собой 9 цифровых фотоаппаратов, приспособленных для измерения солнечного излучения, отражаемого Землёй

(как поверхностью, так и атмосферой) в различных направлениях и диапазонах спектра.

Спутник MODIS, зондирует в 36 диапазонах спектра, с длиной волны от 0,4 мкм до 14,4 мкм и разрешением от 250 м до 1 км. Предназначен для наблюдения за глобальной динамикой планеты Земли (изменения облачности, радиационный баланс и процессы, происходящие в океанах, на суше, и в нижних слоях атмосферы).

Функция прибора MORITT заключается в наблюдении за характером загрязнения атмосферы.

В таблице 2 приведены основные характеристики аппаратуры MODIS.

Таблица 2 – Основные характеристики аппаратуры MODIS на борту спутников Terra/Aqua

Номера каналов	Спектральный диапазон (мкм)	Пространств. разрешение (м)	Полоса обзора (км)	Повторяемость съемки одной территории (для одного спутника)
1-2	0,62 - 0,88	250	2300	1-2 раза в сутки, в зависимости от широты места съемки
3-7	0,46 - 2,16	500	2300	
8-19	0,41 - 0,97	1000	2300	
20-25	3,66 - 4,55	1000	2300	
26	1,36 - 1,39	1000	2300	
27-36	6,54 - 14,39	1000	2300	

Среди приборов на борту Aqua – радиометр MODIS, идентичный установленному на борту Terra. Разница состоит в более позднем времени съемки.

С помощью этого ресурса, через сайт EOSDIS <http://reverb.echo.nasa.gov/> были получены снимки для работы с данными NDVI и GPP.

Снимки для работы с NDVI имеют код продукта MYD13Q1. Версия MYD13Q1 обеспечивает значение вегетационного индекса (VI) в основе

каждого пикселя. Есть 2 основных слоя растительности. Первым из них является NDVI, вторым EVI. Алгоритм выбирает наилучшее доступное значение пикселя из всех приобретений с периодом 16 дней. Наряду с растительностью и двумя быстродействующими слоями у файла в формате .HDF будут группы коэффициента отражения MODIS 1 (Red), 2 (NIR), 3 (Blue), и 7 (MIR). Значения NDVI рассчитываются для снимков с пространственным разрешением 250-500 м, имеющие спектральные каналы в красном (0,65-0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75-1,0 мкм).

Валовая первичная продуктивность GPP продукт (MOD17A2) является набором значений GPP, основанных на концепции эффективности радиационного использования, которое потенциально используется в качестве входных данных для моделей данных для расчета земной энергии, углерода, процесса гидрологического цикла, и биогеохимии растительности. Код продукта MOD17A2 для работы с данными GPP представляет собой 8-дневный композит на 1 км пространственного разрешения. Формат предоставления данных. HDF.

1.3.2 Данные GRACE

Спутниковая миссия GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment), направленная на изучение гравитационного поля Земли и его временных вариаций, связанных, в частности, с процессами изменения климата.

Спутники близнецы GRACE, запущены 17 марта 2002 года, делают детальные измерения изменений гравитационного поля Земли и исследования связанные с водоемами Земли, льдами и океанами, а также землетрясениями и деформации коры. На данный момент спутники GRACE завершили более 13 лет непрерывных измерений. Данные получены при съемки представлена в виде месячных аномалий водного эквивалента массы (АВЭМ), единицы измерения представлены в сантиметрах. Миссия GRACE TELLUS обеспечивает удобными сетками месячных данных Level-3 об изменениях массы

поверхности, при этом большинство геофизических поправок применяются для анализа изменений в массе Земной гидрологии, криосферы и океанографических компонентов. Авторы делаем это, используя данные GRACE Level-2, с дополнительной пост-обработкой, отдельной или в сочетании с другими вспомогательными данными, для создания сетки с привязкой, гео-расположенной продукции (усредненной ежемесячной) с самыми последними поправками [8].

Принцип работы спутника: когда впереди летящий спутник попадает в регионы с более сильной гравитацией (напр. горы) он немного «вытягивается» силой тяжести вперед, от следующего за ним спутника, который сразу фиксирует это. Спутники непрерывно обмениваются радиосигналами в микроволновом диапазоне, что позволяет с микронной точностью отслеживать изменения расстояния между ними. Измеряя постоянно меняющиеся расстояния между двумя спутниками и объединения их с данными измерений GPS, ученые могут построить точную гравитационную карту Земли.

Основные характеристики спутников:

- пространственное разрешение один градус;
- материалы съемки представляют среднемесячные аномалии водного эквивалента массы (АВЭМ), в сантиметрах;
- данные обработаны фильтром Гаусса с окном 300 км;
- учтен эффект поднятия земной коры в послеледниковый период;
- находятся на полярной орбите на высоте 500 км на расстоянии друг от друга в 220 км.

1.3.3 Источники анализируемой информации

Первым источником, используемым в работе, был раздел сайта NASA Reber|ECHO. Сайт <http://reverb.echo.nasa.gov> был разработан с использованием современных технологий разработки веб и представляет свежий вид и интерфейс для обнаружения данных по наукам о Земле.

Раздел сайта NASA Reverb использует современные веб-технологии, чтобы обеспечить освежающий новый вид через EOSDIS наборов данных, что облегчает обнаружение данных расширенной службы [10].

На сайте доступны следующие возможности:

- просмотр сводки качества данных во время поиска и результатов;
- просмотр полного набора данных или метаданных;
- просмотр зернистых результатов экстендов на пространственной карте;
- возможность выбора пространственной точки;
- возможность выбора дневной или ночной съемки;
- выбор процента облачного покрова.

С данного ресурса были снимки из которых были извлечены данные об NDVI и GPP.

Второй источник - раздел сайта NASA GRACE TELLUS <http://grace.jpl.nasa.gov/> предоставляет удобные сетки данных ежемесячных изменений поверхности масс.

Двойные спутники GRACE, запущенны 17 марта 2002 года, делают детальные измерения изменений гравитационного поля Земли и реконструирует исследования о водоемах Земли воды над землей, льда и океанов, а также землетрясений и деформаций земной коры [11].

Пространственное разрешение данных 1 км. Форматы представления:

- NetCDF, подходит для автоматического приема внутрь в несколько пакетов программного обеспечения;
- ASCII, простой текстовый формат (сжатый с помощью Gzip);
- GEOTIFF, пригодные для инструментов ГИС-обработки.

Данным ресурсом использовал сотрудник Института леса Голуков А.С., которые предоставил данные GRACE для анализа.

Третий – сайт американской Геологической службы, которая предоставляет надежную информацию для описания Земли.

На данном ресурсе <http://glovis.usgs.gov> можно получить снимки спутников, предварительно зарегистрировавшись. Для того чтобы полноценно

работать с данным сайтом необходимо установить Java. С данного ресурса была скачена подложка для карт, которые представлены в приложениях А Б.

По умолчанию открывается территория США и коллекции данных L7 SLC-off (2003->). С левой стороны располагается панель инструментов, с помощью которой можно точно задать требования к снимку: нужная территория, облачность, дата снимка и др.

Для того чтобы перейти в нужное место можно:

- щелкнуть по карте-локатору в верхнем-левом углу;
- передвинуть карту с помощью стрелок и мыши.

После того как снимки выбраны, нажимаем Send to Cart (Отправить в корзину) и вводим имя и пароль, полученные при регистрации в EarthExplorer.

Далее возможны два варианта:

- первый, сцена уже готова к загрузке. Если это так, то ее можно скачать сразу после входа в EarthExplorer;
- второй, если сцены в архиве в скачиваемом виде пока нет ее нужно заказать.

Через некоторое время от USGS/EROS должны поступить e-mail сообщения, одно, с подтверждением заказа, другое – со ссылкой, по которой можно будет скачать данные.

Загруженная сцена представляет собой сжатый файл и имеет расширение tar.gz. Для распаковки можно использовать бесплатные программы 7z или WinRAR.

Дополнительные данные, необходимые для анализа и обработки снимков, были предоставлены сотрудниками Института леса кафедрой мониторинга леса.

- маски пожаров в период с 2003-2015гг. – Пономарев Е.И., старший научный сотрудник;
- маски лесов – Им С.Т., старший научный сотрудник;
- хронологии усыхания деревьев в период с 2003-2015гг. – Петров И.А., старший лаборант;

- данные GRACE (аномалии эквивалентов водной массы (АЭВМ)) – Голуков А.С., старший лаборант.

1.4 Программное обеспечение

1.4.1 Программный продукт ERDAS Imagine

Растровый графический редактор и программный продукт ERDAS Imagine – первоначально разработанный компанией ERDAS Inc., и предназначенный для обработки данных дистанционного зондирования (в основном, данных ДЗЗ). В настоящее время продукт выпускает корпорация Intergraph. Продукт предназначен для работы с растровыми данными. Он позволяет обрабатывать, выводить на экран монитора и подготавливать для дальнейшей обработки в программных приложениях ГИС и САПР различные картографические изображения. ERDAS Imagine может также работать в режиме инструментального средства (Toolbox), позволяющего производить многочисленные преобразования растровых картографических изображений и одновременно способного снабжать их географической информацией [13].

Редактор доступен в трех базовых вариантах поставки, отличающихся по своему функционалу, и в наиболее полной мере удовлетворяющих потребности пользователей.

В программе ERDAS Imagine производилась некоторая обработка снимков, для упрощения их использования в ПО ArcGIS. Так же этот комплекс был использован для сшивания скаченных снимков, которые были использованы для подложки карты.

1.4.2 Программный комплекс ArcGIS

Программный комплекс ArcGIS является масштабируемой системой для создания, управления, интеграции и анализа географических данных для любой организации, от индивидуума до большой корпорации. Комплекс построен с использованием стандартов, таких как компонентная модель объектов (COM), расширяемая спецификация языка для создания web-страниц (XML), структурированный язык запросов (SQL), ArcGIS может быть интегрирована со структурой информационной системы любой организации.

Комплекс представляет собой полную систему, которая позволяет собирать, организовывать, управлять, анализировать, обмениваться и распределять географическую информацию [14].

При помощи комплекса ArcGIS можно публиковать географическую информацию для доступа и использования любыми пользователями. Данная система доступна в любой точке, где возможно использование веб-браузеров, мобильных устройств в виде смартфонов, а также настольных компьютеров.

Приложения ArcGIS Desktop предоставляют широчайшие возможности работы с пространственными данными. Все настольные продукты имеют общую архитектуру и отличаются уровнем доступного функционала:

- ArcView - один из трех настольных программных продуктов семейства ArcGIS, базовая ГИС;
- ArcEditor - мощная настольная геоинформационная система для редактирования и управления географическими данными;
- ArcInfo- настольная геоинформационная система, обладающая максимальной функциональностью в линейке программных продуктов ArcGIS;
- ArcReader - это бесплатное, легкое в использовании приложение для просмотра, изучения и печати карт и 3D-глобусов;
- ArcGIS Explorer – бесплатный ГИС-браузер, обладает удобным интерфейсом, визуализирует пространственную информацию и позволяет отображать 3D-объекты.

ArcGIS позволяет выполнять следующее:

- создавать, обмениваться и использовать интеллектуальные карты;
- компиляция географической информации;
- создавать и управлять базами географических данных;
- решение задач при помощи пространственного анализа;
- создание приложений на основании карт;
- связь и обмен информацией с использованием силы географии и визуализации [14].

В данном ПО проходила основная работа над снимками. Проводились различные обработки снимков, извлечение из них информации. Также в этом приложении были изготовлены карты, представлены в положениях.

1.4.3 Программный пакет STATISTICA

Программный пакет STATISTICA для статистического анализа, разработанный компанией StatSoft, реализующий функции анализа данных, управления данными, добычи данных, визуализации данных с привлечением статистических методов [15].

Процедуры системы STATISTICA имеют высокую скорость и точность вычислений.

Система обладает следующими общепризнанными достоинствами:

- содержит полный набор классических методов анализа данных: от основных методов статистики до продвинутых методов, что позволяет гибко организовать анализ;
- является средством построения приложений в конкретных областях;
- в комплект поставки входят специально подобранные примеры, позволяющие систематически осваивать методы анализа;
- отвечает всем стандартам Windows, что позволяет сделать анализ высокоинтерактивным;
- система может быть интегрирована в Интернет;

- поддерживает web-форматы: HTML, JPEG, PNG;
- легка в освоении, и как показывает опыт, пользователи из всех областей применения быстро осваивают систему;
- данные системы STATISTICA легко конвертировать в различные базы данных и электронные таблицы;
- поддерживает высококачественную графику, позволяющую эффектно визуализировать данные и проводить графический анализ;
- является открытой системой: содержит языки программирования, которые позволяют расширять систему, запускать ее из других Windows-приложений, например, из Excel.

Программа STATISTICA состоит из набора модулей, в каждом из которых собраны тематически связанные группы процедур. При исполнении модулей STATISTICA как самостоятельных приложений в любой момент времени в любом модуле имеется прямой доступ к «общим» ресурсам (таблицам данных, языкам BASIC и SCL, графическим процедурам) [15].

В этом ресурсе были произведены расчеты показателей корреляций Пирсона, а также построены графики линейной регрессии.

2 Предобработка данных

Для работы были использованы снимки, заказанные с сайта EOSDIS <http://verb.echo.nasa.gov/>. На главной странице представлена карта, окно для ввода координат, окно для ввода кода продукта, и окно для выбора временного промежутка в котором будут предоставлены снимки. Координаты хребта Хамар-Дабан $51^{\circ}17'$ с. ш. $104^{\circ}19'$ в. д., временной период выбран летние месяцы (июнь-август) с 2003 по 2015 гг., так как данный отрезок времени удачнее подходит для получения корректных данных: снег уже растаял, растительность находится в активной фазе. На рисунке 1 показан процесс заказа данных NDVI.



Рисунок 1 – Процесс заказа данных NDVI

На втором шаге нужно выбрать пакет предложенных снимков, в данном случае были выбраны снимки с периодичностью в 16 дней с разрешением 250 метров, и добавлен в корзину. Перейдя в корзину (Shopping Cart), скачать, нажав на Download.

После того, как снимки были скачены, необходимо их привести в удобный для работы и извлечению данных вид. Для этого необходимо объединить все снимки одного года в соответствующие файлы, для чего использовалось ПО ArcGIS.

Например, открыв ПО ArcGIS, в левом окне выбираем иконку Add Data, и добавляем скаченные снимки, например, за 2003 год. После того, как все нужные снимки будут добавлены, необходимо выполнить объединение слоев. Для этого в меню выбираем ArcToolbox, Data Manager, Raster, Raster Processing, Composite Bands, и в предложенном окне снова добавляем все нужные слои в хронологическом порядке. Данную операцию была проделана для каждого года с 2003 по 2015 гг.

Так как исходная проекция файлов приводит к искажениям в данном регионе исследований (проекция WGS 84), необходимо перепроцировать полученные файлы в проекцию WGS 1984 UTM Zone 48N. Для этого в ПО ArcGIS, в меню модуля ArcToolbox выбрать Data Management Tools, Projections

and Transformations, Project. Программа выдаст окно, где в строке Input Dataset or Feature Class выбрать файл, с которым проходит работа, ниже, в строке Output Coordinate System выбрать систему координат (WGS 1984 UTM Zone 48N), в которую нужно перепроцировать файл. В строке Output Dataset or Feature Class указать путь для сохранения файла в формате .tif.

Информация должна быть извлечена для выбранной нами местности. Территория исследования это 7 точек полевых работ на которых происходит усыхание. Помимо них есть еще 2 контрольных точки, где состояние древостоя хорошие. Но так как на территории исследования происходили пожары, которые могут занижить или завысить показатели NDVI и GPP, пиксели с ними необходимо вырезать. Для этого были использованы предоставленные данные о пожарах Институтом леса, кафедрой мониторинга леса в виде масок пожаров.

Все точки, были проверены на принадлежность к предоставленным маскам пожаров, результат был отрицательный, что означает что влияние пожаров может быть практически исключено.

Готовые файлы точек исследования, содержащие все снимки за определенный год, находящийся в проекции WGS 1984 UTM Zone 48N, без гарей, считаются корректным для извлечения из них информации. Для получения данных из снимка необходимо в меню ArcToolbox выбрать Spatial Analyst Tools, Multivariate, Band Collection Statistics, указать файл, из которого нужно извлечь данные, и сохранить полученный результат в формате .txt. Эту операцию также нужно повторить для всего периода 2003-2015гг.

В результате получены 13 текстовых файлов, из содержания которых нужно извлечь данные о max NDVI и добавить их в таблицу Excel.

Аналогичную работу нужно провести и для получения данных GPP.

Так как данные NDVI являются 16-дневными, то путем нахождения среднего значения из двух предоставленных измерений за месяц, выводим конкретное значение для каждого месяца. Затем, исходя из посчитанных данных за каждый месяц, были посчитаны среднелетние данные (июнь-август) за каждый год.

Для показателей GPP расчеты производятся аналогично, как и для NDVI, за исключением результатов за месяц: среднее находится из четырех значений, так как данные предоставляются в 8 дневном формате.

Далее была взята информация хронологий усыхания древостоев за 2003-2015гг., предоставленная сотрудником Института леса Петровым И.А., в виде дендрохронологий для усыхающих древостоев на хребте Хамар-Дабан в исследуемых точках.

Чтобы провести анализ динамики GRACE, были запрошены данные у Института леса лаборатории мониторинга леса. Данные предоставил старший лаборант Голюков А.С.

С сайта <http://grace.jpl.nasa.gov/> были скачены снимки за временной период 2003-2015 гг. Разрешение снимков 1x1 градус. Затем, для восстановления сигнала, ослабленного 300 км фильтром Гаусса, каждый слой был домножен на слой CLM4 Scale Factor. Далее произведено извлечение из них данных, отсутствующие данные для некоторых месяцев, из-за сбоев или ремонтных работ, заменялись усредненными соседних месяцев.

3 Анализ данных

3.1 Анализ динамики NDVI

Для анализа трендов строились линейные регрессии с использованием данных о значениях NDVI с 2003 г. по 2015 г. для двух периодов.

Первый - июль, т.к. предположительно, что в этот период приходится максимальная площадь растительности, следовательно, больше фотосинтеза и формируется древесное кольцо.

Второй - июнь-август, за исключением первой половины июня, и второй половины августа, так как количественный показатель количества фотосинтетической активной биомассы в начале лета только начинает расти, а в конце лета уже идет на спад.

В ходе работы были получены результаты, приведенные ниже на рисунках 2-6.

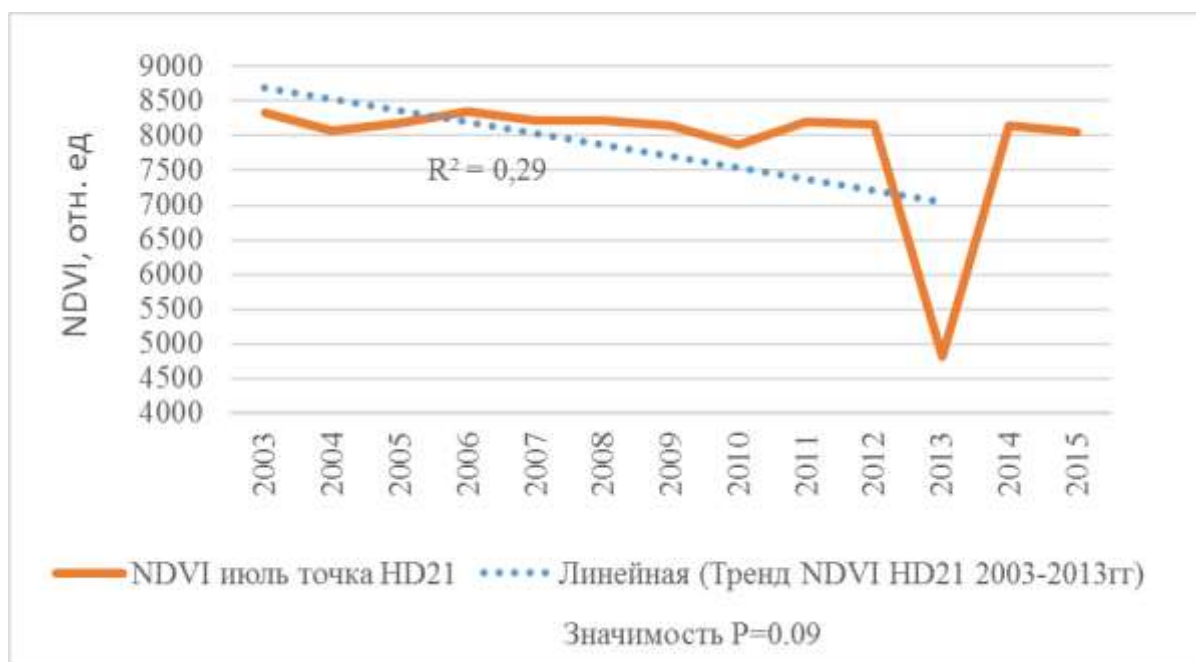


Рисунок 2 – График динамики NDVI в точке HD21 (июль)

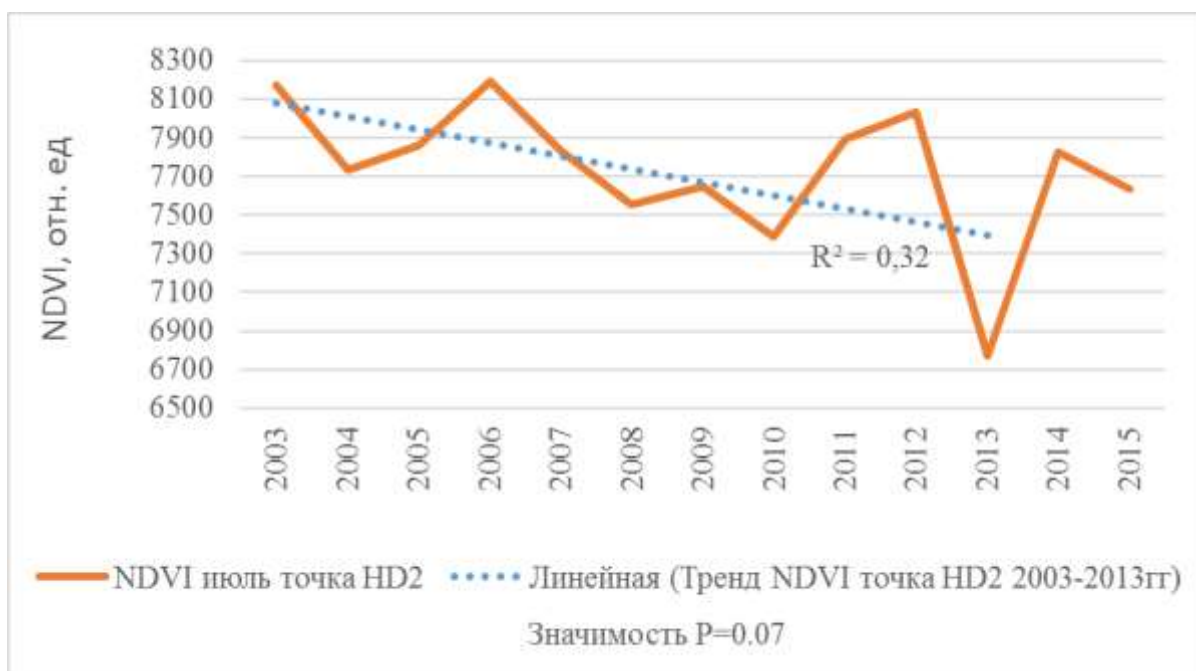


Рисунок 3 – График динамики NDVI в точке HD2 (июль)

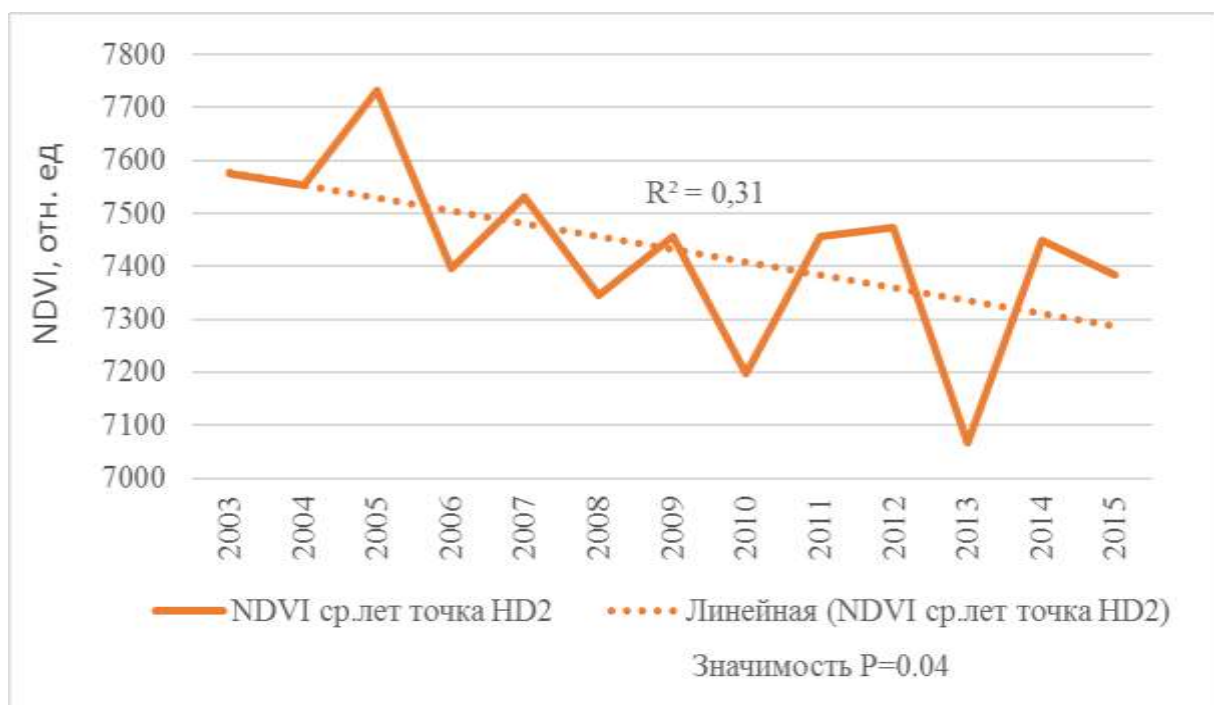


Рисунок 4 – График динамики NDVI точки HD2 (ср. лет)

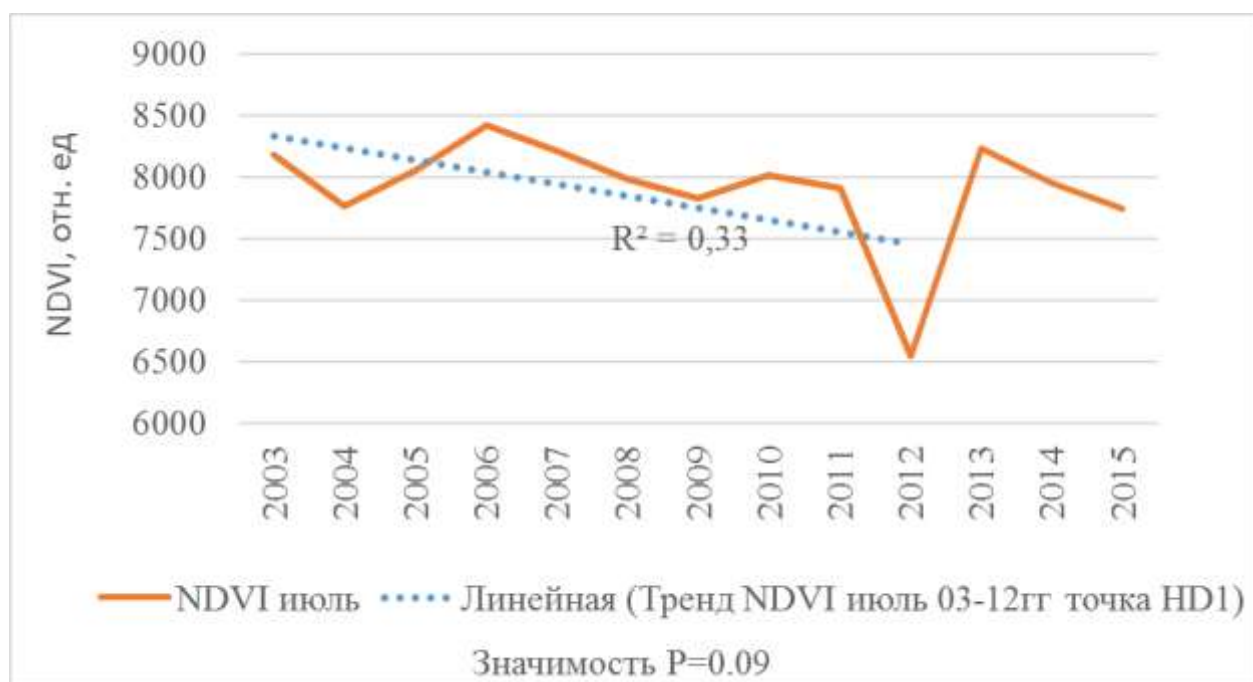


Рисунок 5 – График динамики NDVI в точке HD1 (июль)

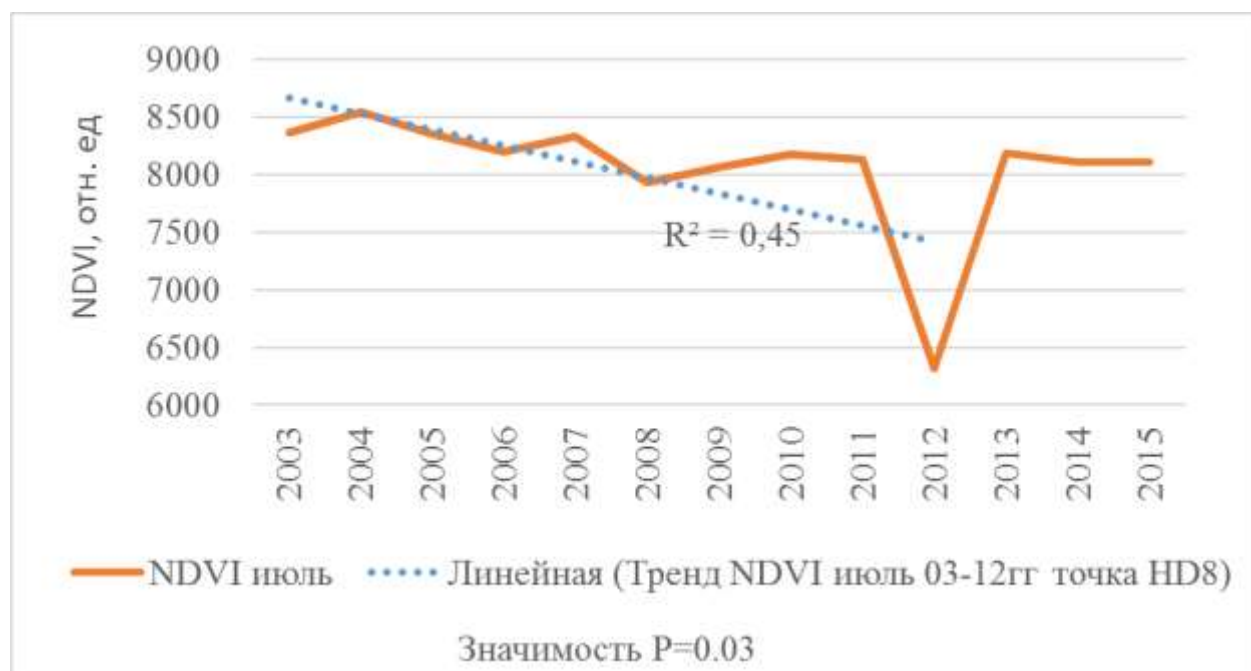


Рисунок 6 – График динамики NDVI в точке HD 8 (июль)

Значимые убывающие тренды NDVI наблюдаются на точках усыхания HD21(период июль), HD2 (июль, ср.лет), HD1 (июль), HD 8 (июль). Уровень значимости у двух ниже $p < 0.05$ и у трех оставшихся $p < 0.1$. Наличие данных трендов свидетельствует о том, что NDVI «улавливает» индицирует ухудшение состояния древостоя.

Далее в работе для тех точек, где имеются дендрохронологические данные будет также высчитан показатель корреляции Пирсона.

3.2 Анализ динамики GPP

При работе с данными GPP сначала были также проанализированы линейные регрессии, на наличие значимых трендов. Значимыми тренды оказались на точках: HD1(июль), и HD8 (июль, ср.лет), уровень значимости $p < 0.06$. Результаты динамики GPP представлены ниже на рисунках 7-9.

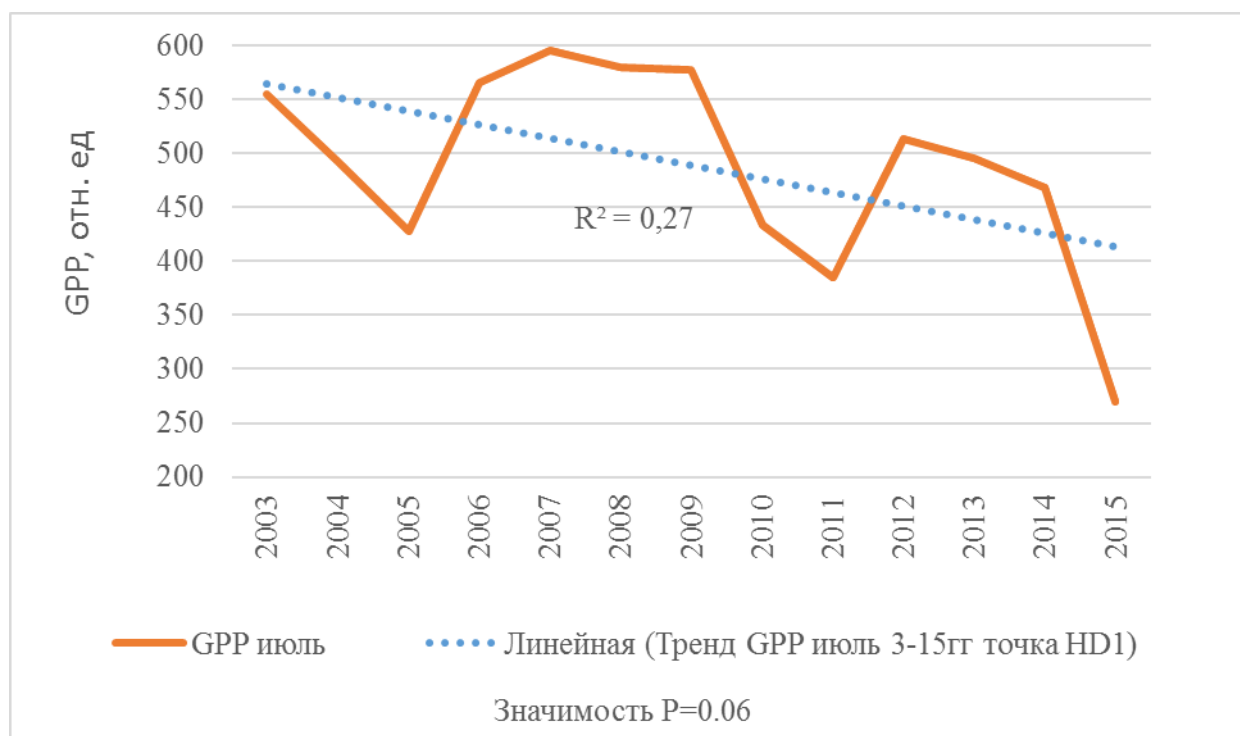


Рисунок 7 – График динамики ГРР в точке HD 1 (июль)

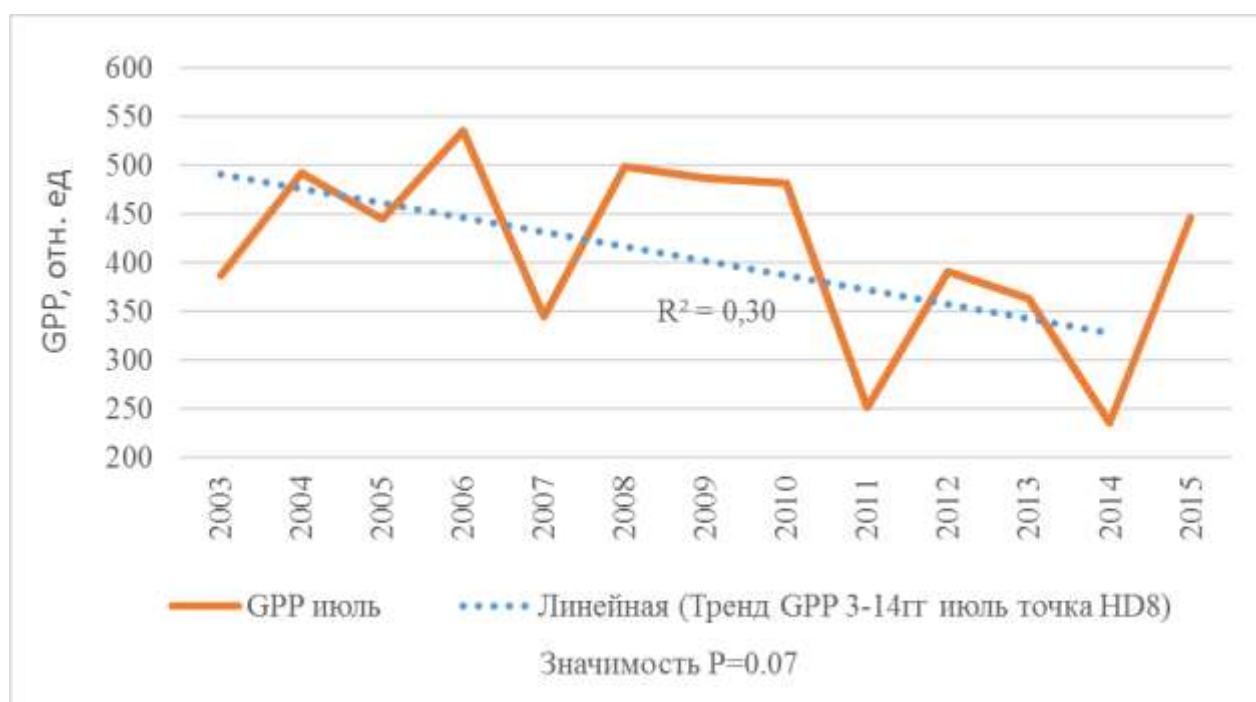


Рисунок 8 – График динамики ГРР в точке HD 8 (июль)

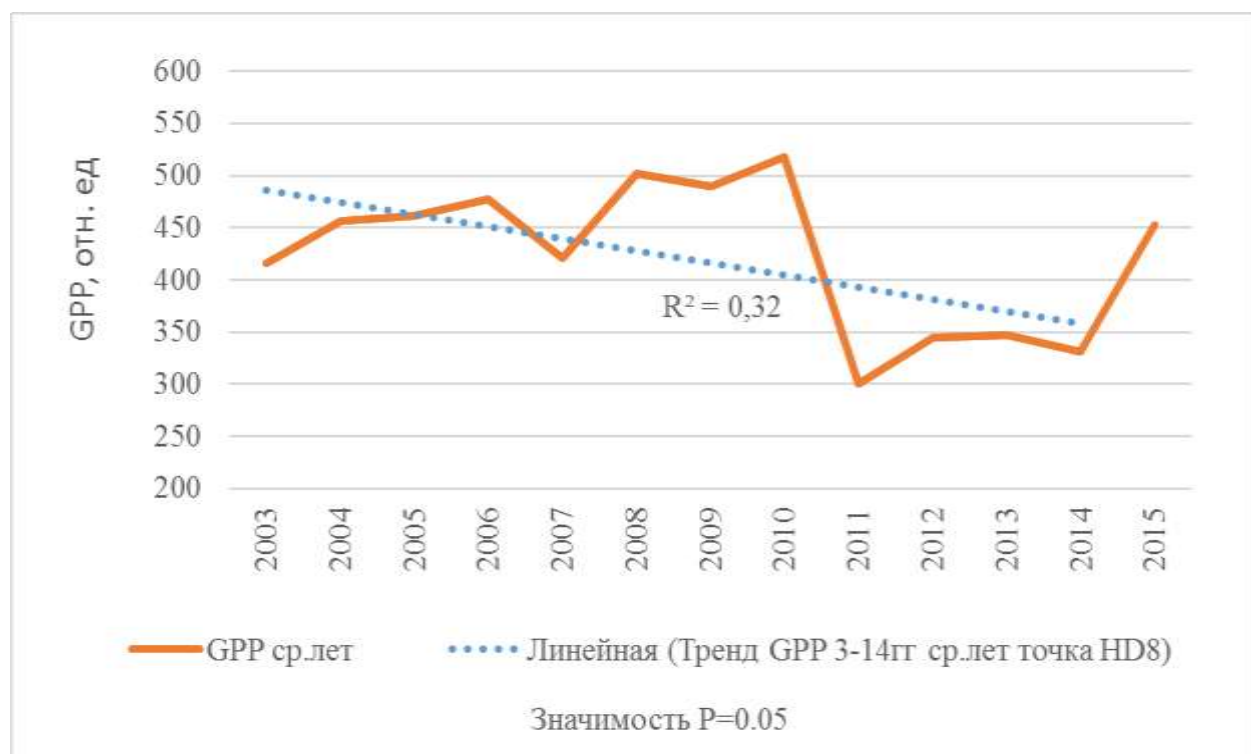


Рисунок 9 – График динамики GPP в точке HD 8 (ср.лет)

Анализ трендов показал, что показатели NDVI и GPP имеют значимые убывающие тренды, это означает, что данные продукты фиксируют процесс усыхания древостоев. Помимо этого анализ динамики показал, что данные продукты чувствительны к разным сторонним факторам, например, не учтенным мелким пожарам, вырубкам, которые могут резко занизить показатели, а в следующем году, из-за появления на данном местах травяной растительности или растущего подроста, может произойти резкий положительный скачок в динамике, или даже изменение тренда на положительный, такая же ситуация с лесом, который достаточно сильно усох и обсыпался, тем самым освободив место подросту и травяной или кустарниковой растительности.

3.3 Анализ динамики данных GRACE

Для анализа были построены графики динамики NDVI/GPP, GRACE, и рассчитаны корреляции с их уровнем значимости.

Ниже приведены графики и сводные таблицы для самых сильных таких связей. На рисунках 10-12 показана динамика данных GRACE. В таблице 3 приведены результаты расчёта корреляции и значимости для точек, показанных на рисунках 10, рисунка 11, рисунка 12.

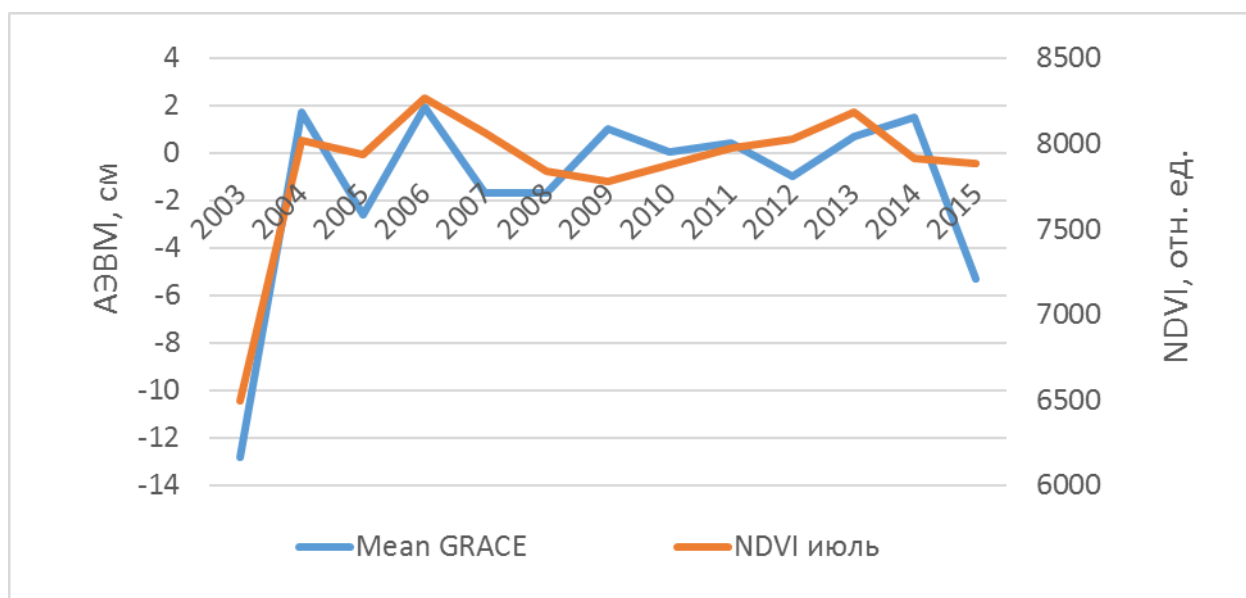


Рисунок 10 – График динамики АЭВМ и NDVI в точке HD 19

Таблица 3 – Результаты расчетов корреляции R и значимости P для NDVI и АЭВМ

Точка и период	Корреляция, R	Значимость, P
NDVI HD19 ср.лет. vs АЭВМ ср.лет., 2003-2015гг.	0.87	0.00
NDVI HD1 ср.лет. vs АЭВМ ср.лет., 2008-2014гг.	0.78	0.04
GPP HD191 июль vs АЭВМ июль, 2004-2010гг.	0.82	0.02

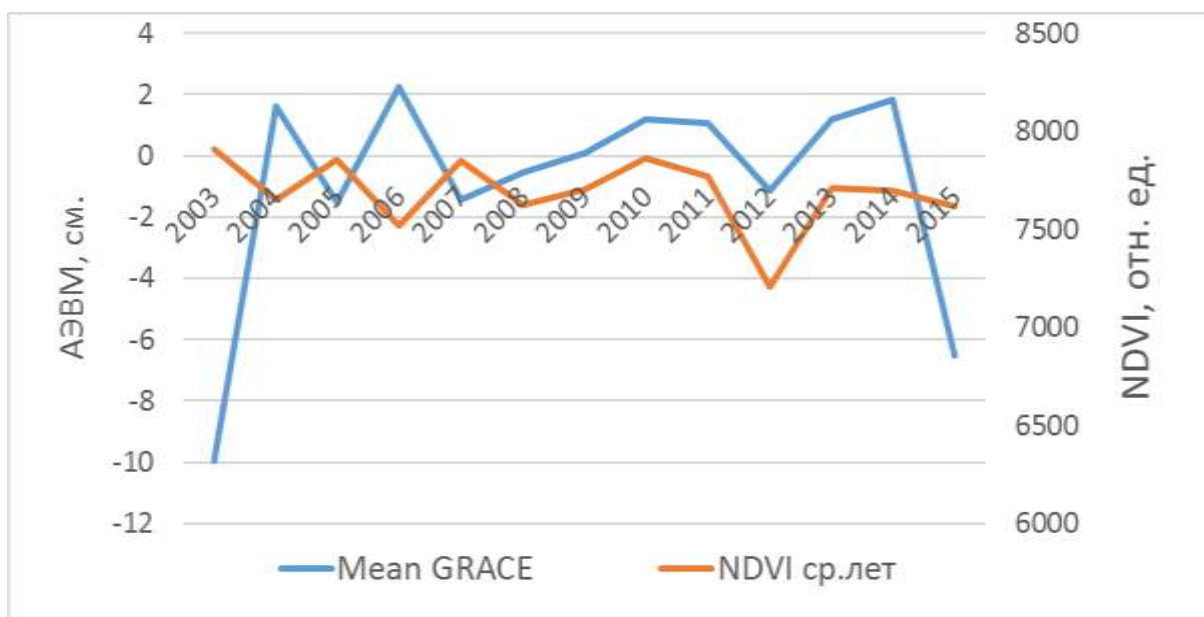


Рисунок 11 – График динамики АЭВМ и NDVI в точке HD 1

Данная работа была проведена и для показателей GPP. Результаты так же представлены графиками и таблицами.

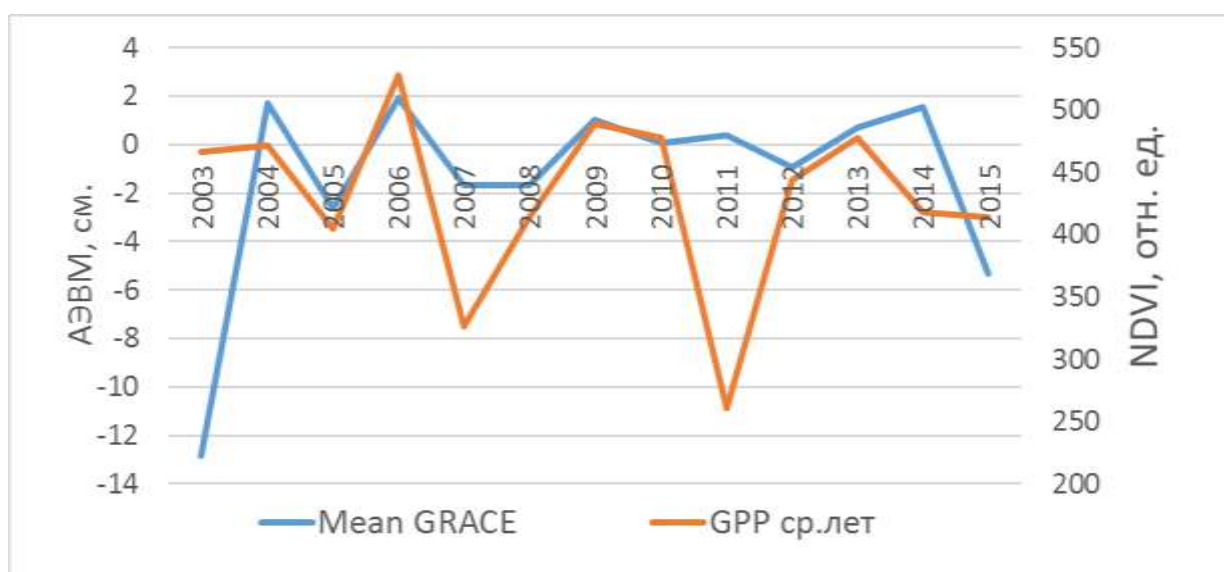


Рисунок 12 – График динамики АЭВМ и GPP в точке HD 19

Проанализировав графики можно сделать вывод, что графики в целом ведут себя синхронно, исключениями являются единичные года. Исключения можно объяснить тем, что в эти годы была сильная засуха либо был локальный пожар.

3.4 Корреляционный анализ зависимостей между NDVI и GPP и радиальным прироста сосны кедровой сибирской

Далее были рассмотрены связи между дендрохронологиями усыхающих древостоев и NDVI.

Хронологии предоставлены сотрудником Института леса кафедрой мониторинга леса Петровым И.А. (старший лаборант). Данные предоставлены с 2003 по 2015 год.

Самые сильные связи для этой категории оказались для точек исследования HD8, и HD2. Посчитана корреляция и значимость для каждой точки разного периода (таблицы 4-6). Рисунки 13- 14 демонстрируют связь NDVI и хронологии усыхания, а рисунки 15-16 связь хронологии усыхания и GPP.

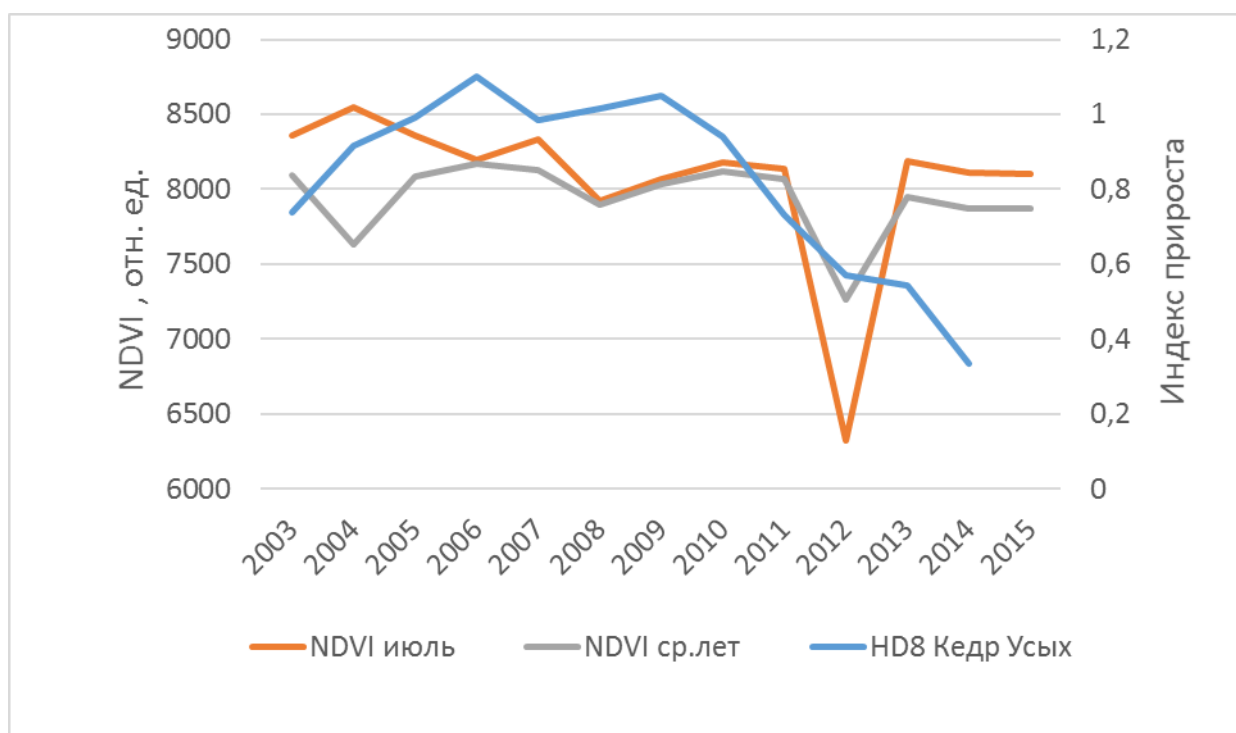


Рисунок 13 – График динамики NDVI и хронологий в точке HD 8

Таблица 4 – Результаты расчетов R и P для NDVI и хронологий для рисунка 13

Точка и период	Корреляция, R	Значимость, P
NDVI HD8 ср.лет vs кедр усах, 2004-2009гг.	0,74	0.09
NDVI HD8 июль vs кедр усах, 2004-2012гг.	0,73	0.02
NDVI HD8 ср.лет. vs кедр усах, 2004-2012гг.	0,72	0.03

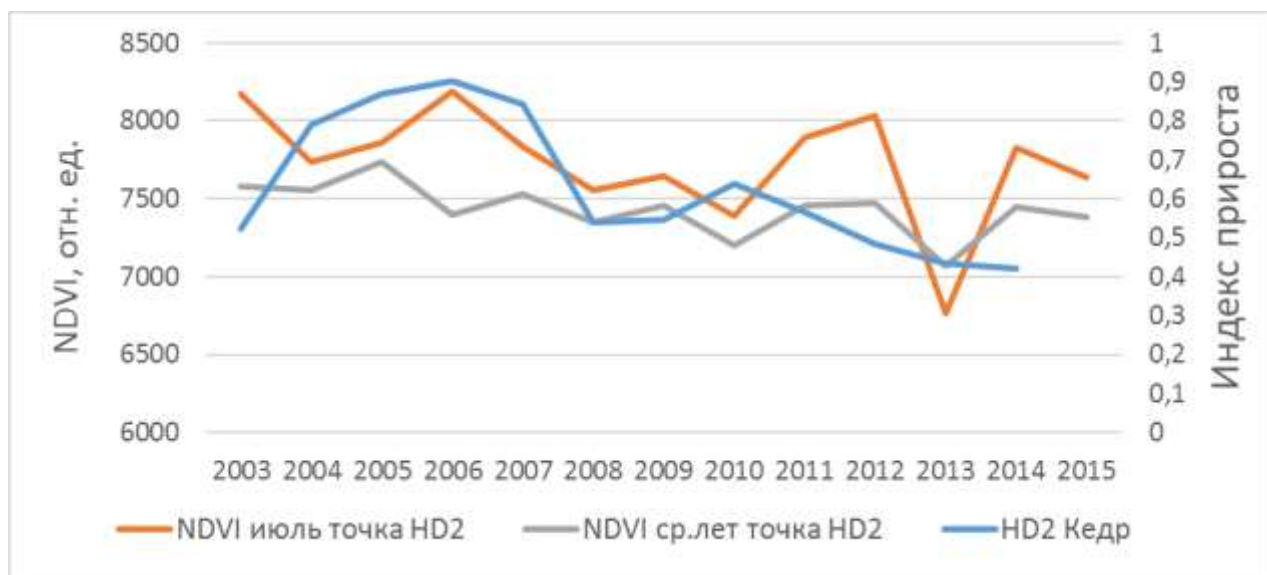


Рисунок 14 – График динамики NDVI и хронологий в точке HD 2

Таблица 5 – Результаты расчетов R и P для NDVI и хронологий для рисунка 14

Точка и период	Корреляция, R	Значимость, P
NDVI HD2 ср.лет vs кедр, 2004-2013гг.	0.59	0.07
NDVI HD2 июль vs кедр, 2004-2013гг.	0.55	0.09

Аналогично выполнена работа и для GPP. Здесь информативными для этой категории оказались графики точек HD1, и HD8.

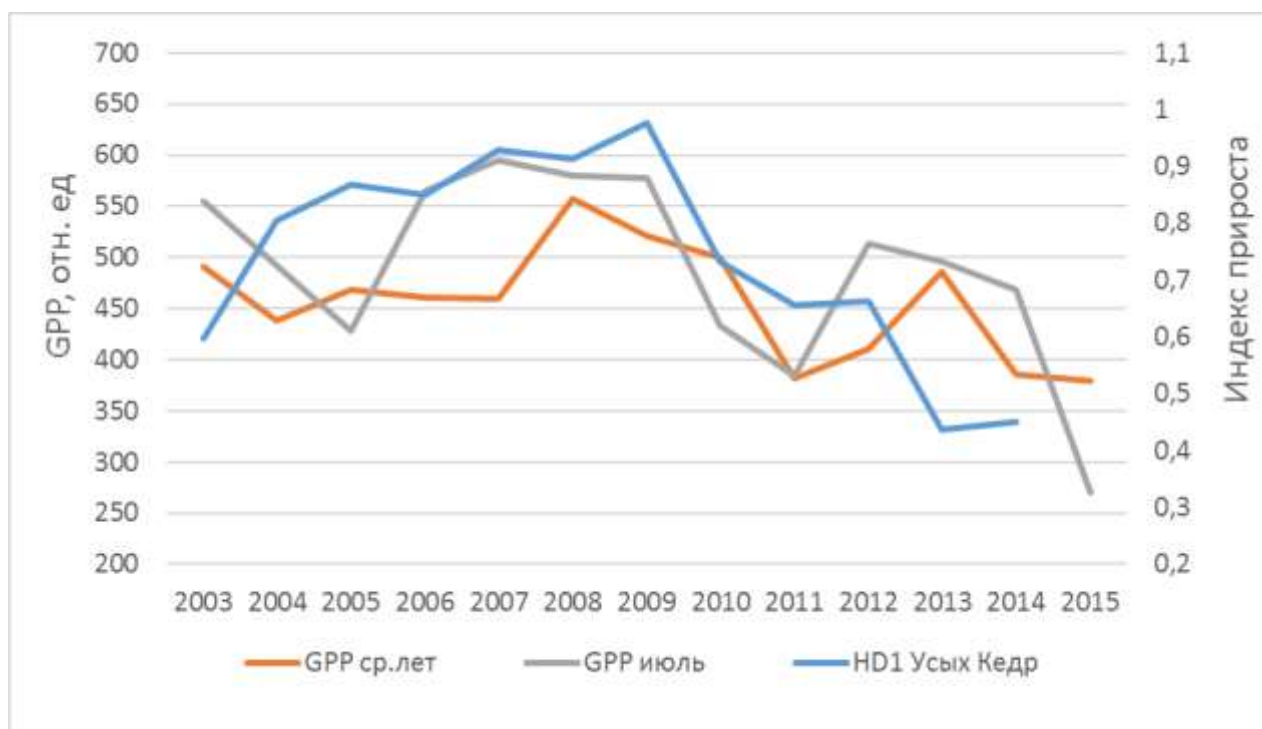


Рисунок 15 – График динамики GPP и хронологий в точке HD 1

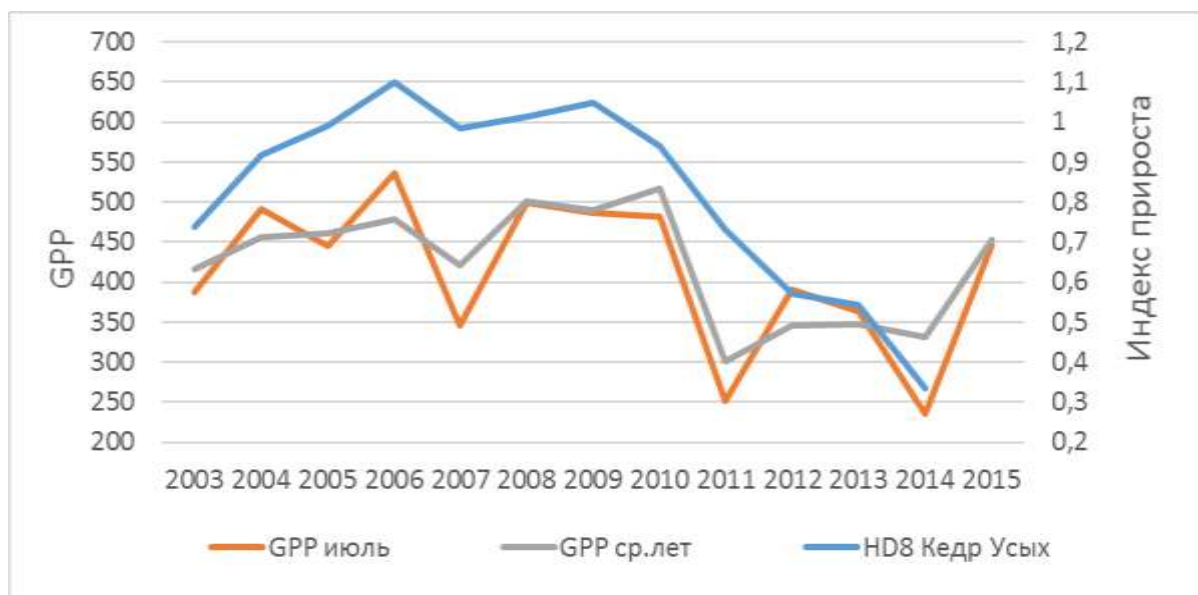


Рисунок 16 – График динамики GPP и хронологий в точке HD 8

Таблица 6 – Результаты расчетов R и P для GPP и хронологий для рисунков 15-16

Точка и период	Корреляция, R	Значимость, P
GPP HD1 ср.лет. vs кедр усах, 2004-2012гг.	0.73	0.02
GPP HD1 июль vs кедр усах, 2004-2012гг.	0.71	0.03
GPP HD8 июль vs кедр усах, 2003-2014гг.	0.77	0.003
GPP HD8 ср.лет. vs кедр усах, 2003-2014гг.	0.83	0.001

Выявлены значимые ($p=0.001-0.09$) корреляционные связи ($R=0.55-0.73$) между динамикой прироста сосны кедровой сибирской и NDVI/GPP на трех точках усыхания данного древостоя.

4 Выводы

- установлены значимые корреляции зависимости между величинами нормированного вегетационного индекса (NDVI), валовой первичной продукцией (GPP), и величиной прироста сосны кедровой сибирской;
- выявлено, что данные гравиметрической съемки со спутника GRACE применимы для анализа состояния древостоев;
- найдены корреляции зависимости между радиальным приростом сосны кедровой сибирской и аномалиями водной массы (АЭВМ), измеряемые методом гравиметрической съемки;
- данные гравиметрической съемки со спутника GRACE представляют перспективный метод для оценки водного режима лесных территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бакалаврская работа включает в себя четыре основных раздела.

В обзоре предметной области рассмотрены параметры растительного покрова, методы корреляционного анализа, проведен обзор программного обеспечения, используемого в работе, а также обзор ресурсов для получения данных

Вторая часть включает подготовку и предобработку исходных данных, обработку информации.

В третьей часть содержится обработка и анализ данных. В ней представлены динамика нормированного вегетационного индекса (NDVI), валовой первичной продукцией (GPP), аномалии водной массы (АЭВМ) и корреляционных зависимостей между указанными параметрами и величиной радиального прироста сосны кедровой сибирской. В ходе выполнения работы установлены значимые корреляции между NDVI, GPP, АЭВМ, а также между радиальным приростом сосны кедровой сибирской и АЭВМ.

В четвертой части представлены основные, сделанные на основе выполненной работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Павлов, И.Н., Барабанова, О.А., Агеев, А.А. К вопросу о причинах массового усыхания пихтово-кедровых лесов в горах восточного Саяна, / Агеев, А.А., Барабанова, О.А., Павлов, И.Н. // Всерос. научно-практич. конф., Красноярск, 12 марта 2009. – С. 18-22.
- 2 Ставников, Д.Ю. Факторы деструкции темнохвойной тайги Хамар-Дабана (Южное Прибайкалье) [Текст]: автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. биол. наук / Д. Ю. Ставников // Федеральное гос. бюджетное учреждение науки "Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН". - Улан-Удэ, 2013. – С. 21.
- 3 Velicogna, I. Kimball, J. S., Kim, Y. Impact of changes in GRACE derived terrestrial water storage on vegetation growth in Eurasia / Kim, Y., Kimball, J. S., Velicogna, I. // Environmental Research Letters, 2015. – С. 4-7.
- 4 Logan, T. Berner, Pieter, S. A. Beck, Andrew G. Bunn, Andrea H. Lloyd, Scott J. Goetz, High-latitude tree growth and satellite vegetation indices: Correlations and trends in Russia and Canada (1982–2008) / Scott J. Goetz, Andrea H. Lloyd, Andrew G. Bunn, Pieter, S. A. Beck, Logan, T. Berner // Journal of Geophysical research, vol. 116, 2011. - С. 10-11.
- 5 Сайт ЗАО Научно-производственного геоинформационного центра «Геоцентр-Консалтинг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geocenter-consulting.ru/>
- 6 Сайт географических систем и дистанционного зондирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/>
- 7 Горбачева, И.Г. Краткий курс по методам математической статистики / И.Г. Горбачева - Москва: АСВ, 2006. – С. 89.
- 8 Информационный геологический портал Недра Красноярья [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://knedra.ru/>
- 9 Национальный портал Природа России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.priroda.ru/>

- 10 Официальный сайт NASA раздел для заказа снимков Reverb|ECHO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://reverb.echo.nasa.gov/>
- 11 Официальный сайт NASA раздел для получения данных GRACE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://grace.jpl.nasa.gov/>
- 12 Официальный сайт Геологической службы США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://glovis.usgs.gov/>
- 13 Официальный сайт ПО ERDAS Imagine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hexagongeospatial.com/>
- 14 Официальный сайт ПО ArcGIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://resources.arcgis.com/>
- 15 Официальный сайт ПО STATISTICA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.statsoft.ru/>
- 16 Пономарев, Е.И., Швецов, Е.Г. Спутниковые данные в оценке параметров лесных пожаров Сибири Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций / Швецов, Е.Г., Пономарев, Е.И. // V Всерос. научно-практич. конф., Железнодорожск, 17 июня 2015., 2015. – С. 16-23.
- 17 Шишкин, И.Н., Использование геоинформационных технологий для мониторинга и оценки последствий чрезвычайных ситуаций / Шишкин, И.Н. // Доклады ТУСУРа., 2014. – С. 276-280.
- 18 Жирин, В.М. Дистанционные методы оценки состояния лесов [Текст]: автореф. дис. на соискание учен. степ. доктора сельхоз. наук / Жирин, В.М. // Брянская государственная инженерно-технологическая академия, Брянск, 1998. – С. 208.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Карта исследуемой территории

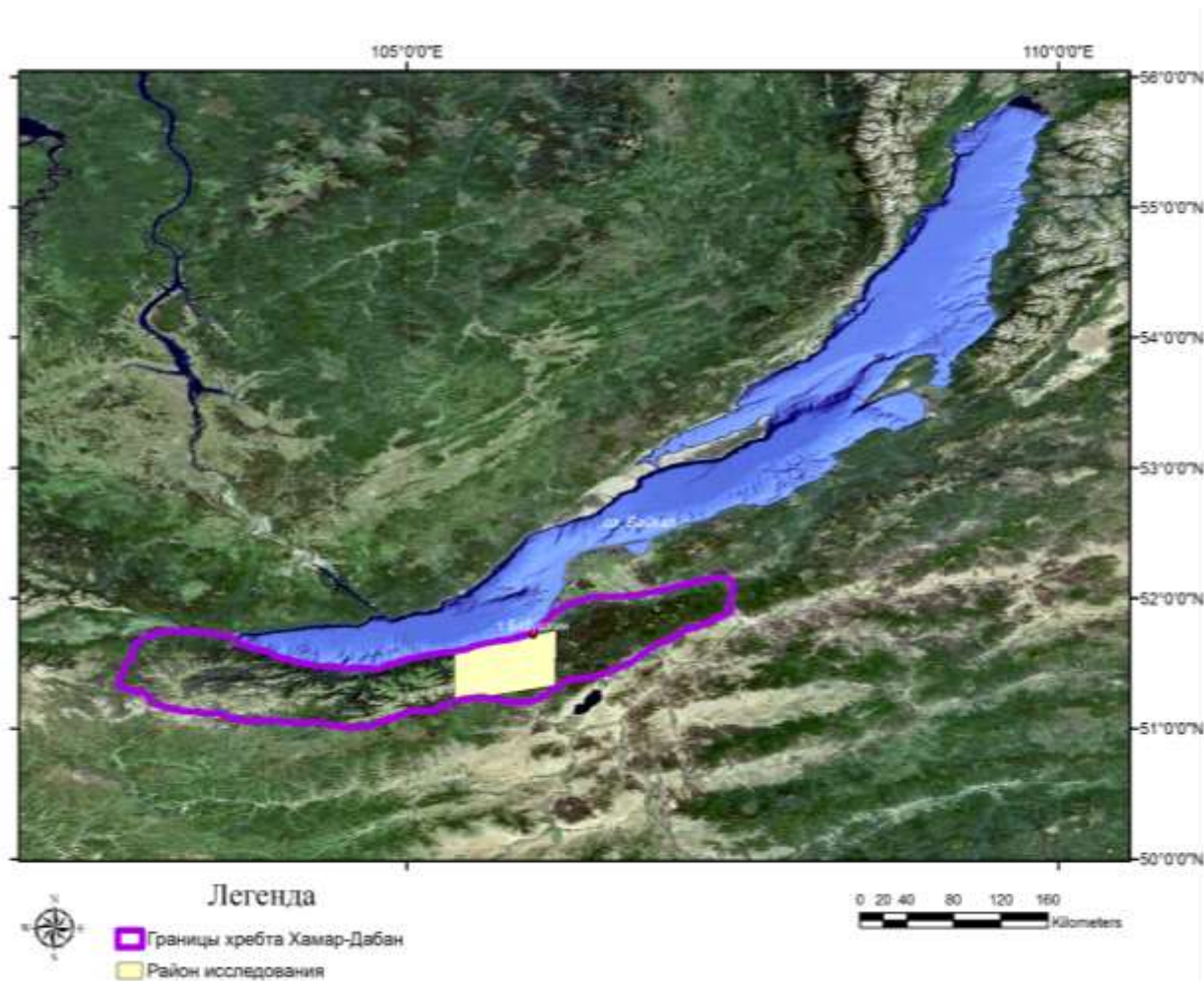


Рисунок А.1 – Контур исследуемой территории

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Карта расположения исследуемых точек

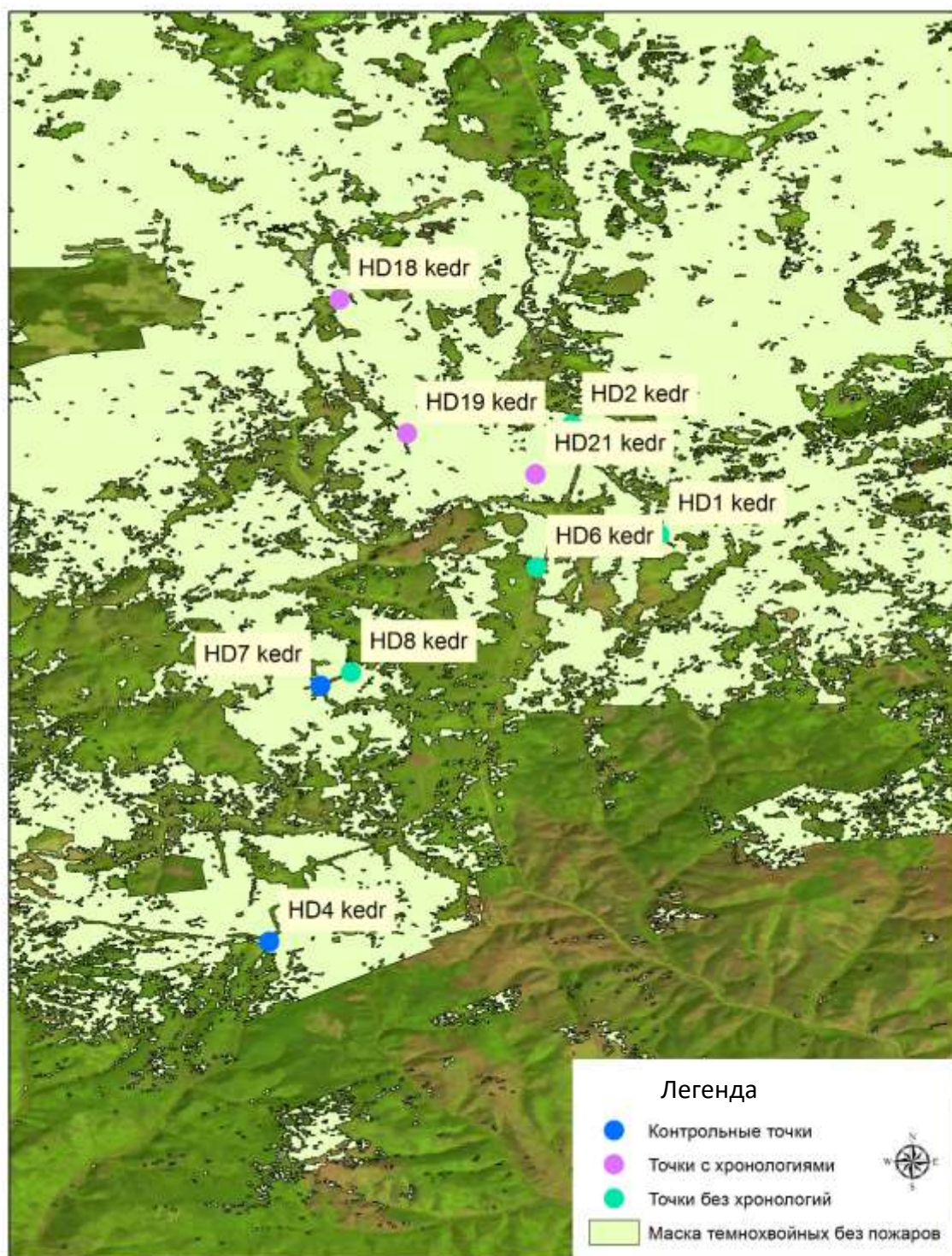


Рисунок Б.1 – Расположение исследуемых точек